

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-054798

(43)Date of publication of application : 26.02.1999

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 09-204405

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 30.07.1997

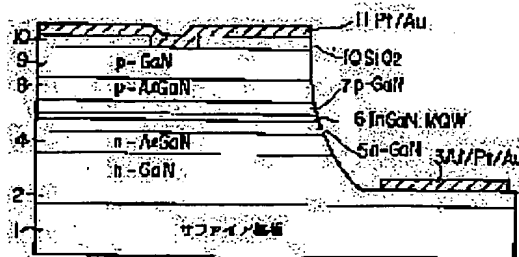
(72)Inventor : JOHN LENEY

(54) SEMICONDUCTOR DEVICE AND ITS MANUFACTURE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the resistances of metal electrodes through the reduction of surface barriers by reducing the surface levels of GaN contact layers by interposing thickness-controlled high-purity surface oxide films between the GaN contact layers and metal electrodes.

SOLUTION: A GaN semiconductor layer provided with an ohmic electrode is constituted of an InGaN multi-quantum well active layer 6, light guide layers 5 and 7 which are respectively formed below and on the active layer 6, clad layers 4 and 8 which are respectively formed below and on the light guide layers 5 and 7, and contact layers 2 and 9 which are respectively formed below and on the clad layers 4 and 8. The semiconductor layers composed of a multilayered structure of GaN crystals is formed on a sapphire substrate 1, but current electrodes 3 and 11 are led out from one side of the laser, because the substrate 1 is made of an insulator. Current electrode structures containing interpose oxide films are respectively applied to the layers between the upper p-type GaN contact layer 9 and a Pt/Au electrode 11 and between the lower n-type GaN contact layer 2 and an Al/Pt/Au electrode 3. Therefore, a highly efficient GaN semiconductor laser having a long service life can be realized, because the operating voltage of the laser can be lowered.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-54798

(43) 公開日 平成11年(1999) 2月26日

(51) Int.Cl.⁹
H 0 1 L 33/00

識別記号

F I
H 0 1 L 33/00

E
C

審査請求 未請求 請求項の数5 OL (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平9-204405

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月30日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 ジョン・レニー

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社東芝研究開発センター内

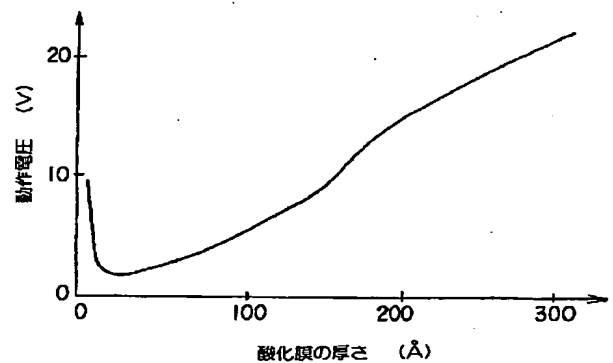
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54) 【発明の名称】 半導体装置及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 過剰な電圧降下を低減することができるGaN系半導体装置の電流供給用電極の構成とその製造方法を提供する。

【解決手段】 電流電極の下地となるGaNコンタクト層と前記電流電極との間に、厚さが制御された高純度のGaN表面酸化膜を介在させることにより、GaNコンタクト層の表面準位を除去し、表面障壁の低減を通じて前記電流電極の抵抗を大幅に低下することができる。本電流電極の製造方法は、GaNコンタクト層上の厚い初期酸化膜をHF溶液を用いてエッチング除去し、エッチングで表面に残留した弗素を除去し、さらに温水浸漬またはO₂を含むキャリアガス中の熱酸化により一定厚さの酸化膜を形成し、その上に金属膜を真空蒸着することにより行われる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくともGa及びNを成分元素とするコンタクト層と、このコンタクト層の表面に隣接し、前記コンタクト層の表面を覆う一定厚さの酸化膜と、この酸化膜の表面に隣接し、さらにこの酸化膜を覆う金属膜とからなる電流供給用の金属電極を具備することを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 前記一定厚さの酸化膜は、その厚さが8Å乃至25Åの範囲内であることを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

【請求項3】 前記金属電極は、少なくともGa及びNを成分元素とする発光素子の電流供給用の金属電極をなすことを特徴とする請求項1記載の半導体装置。

【請求項4】 電流供給用の金属電極の下地に、少なくともGa及びNを成分元素とするコンタクト層を具備する半導体装置の製造方法において、前記コンタクト層表面の初期酸化膜をエッチング工程により除去し、前記エッチング工程において、前記コンタクト層の表面に残留した不純物元素を除去し、かつ、前記コンタクト層の表面に、再度酸化膜を一定厚さまで成長することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項5】 前記コンタクト層はp型であって、前記金属電極はNi、Pd、Ir、Au、Pt及びこれらの合金のいずれか1つを前記コンタクト層の表面に堆積したものであり、かつ、前記酸化膜の一定厚さは8Å乃至25Åの範囲内であることを特徴とする請求項4記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体装置に係り、特にGa系半導体装置の低抵抗な電流電極の構造とその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、Ga系半導体装置は、Ga系にMgを添加することによりp型Ga系（以下p-Ga系と略称する）の形成に成功して以来、青色乃至紫外光領域の半導体レーザとしてその商品化が進められてきた。しかし、僅かにレーザ発光がみられたものの、まだ解決すべき多くの問題が残されている。

【0003】主な問題点の1つは、レーザ発光のしきい値電流と動作電圧が非常に大きいことである。その理由は、電極材料として仕事関数のもっとも大きい金属を用いても、なお良好なオーミック特性が得られないためである。したがって、通常オーミック電極の材料として仕事関数の大きいNi等を用いるが、この他には特に有効な改善方法がなく、過大な動作電圧の原因となる電流電極の非オーミック性は、Ga系半導体装置に固有のものとして受け入れざるを得ない状況であった。

【0004】オーミック抵抗を低減する方法として、金属電極を種々の温度で熱処理する試みもなされてきたが、良好な結果は得られていない（石川他、J. Appl. Phys., 81 (1997) p. 1315参照）。n-GaNへのオーミック電極はp-GaNの場合に比べて抵抗値が約1桁小さく問題は小さいと考えられるが、それでもなおGaNの結晶性が阻害されるほど多量のn型不純物を添加しなければ良好なオーミック特性が得られないことが知られている（F. Chen et al.; Electrochemical Society Proceedings, Vol. 96-11, (1996) p. 122 参照）。

【0005】金属電極を蒸着する前にGaN層の表面を化学処理する方法も報告され（例えばL. L. Smith et al.; J. Electronic Materials, Vol. 25 (1996) p. 805参照）、HF系の溶液を用いてGaNの表面をエッチングすれば最良のコンタクトが得られるという説もあるが、実際には良好な結果が得られていない。

【0006】このため、p型及びn型GaNのオーミックコンタクト特性を改善する方法は、主として下地コンタクト層に添加するp型及びn型不純物量をさらに増加するか、またはInGa系中間層を用いて金属電極との間に生じる障壁の高さを低減するか、またはその両者を組み合わせること等が専ら行われてきた。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記したように従来のGa系半導体装置には、特にp型側の低抵抗なオーミック電極の形成が極めて困難であるという問題があった。本発明は上記の問題点を解決すべくなされたもので、従来試みられたオーミック特性の改善方法とは全く異なる表面準位制御の観点から、金属電極とGaNの間に生じるキャリアの障壁を除去するオーミック電極の構造と、その製造方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明のGa系半導体装置のオーミック電極の構造は、GaNコンタクト層と金属電極との間に、厚さが制御された高純度の表面酸化膜を介在させることにより、GaNコンタクト層の表面準位を除去し、表面障壁の低減を通じて前記金属電極の抵抗を大幅に低下させることを特徴とする。

【0009】具体的には本発明の半導体装置は、少なくともGa及びNを成分元素とするコンタクト層と、このコンタクト層の表面に隣接し、このコンタクト層の表面を覆う一定厚さの酸化膜と、この酸化膜の表面に隣接し、さらに前記酸化膜を覆う金属膜とからなる電流供給用の金属電極を具備することを特徴とする。

【0010】好ましくは前記一定厚さの酸化膜は、その厚さが8Å（オングストローム）乃至25Åの範囲内であることを特徴とする。また前記金属電極は、少なくともGa及びNを成分元素とする発光素子の電流供給用の金属電極であることを特徴とする。

【0011】本発明の半導体装置の製造方法は、少なく

ともGa及びNを成分元素とするコンタクト層上に電流供給用の金属電極を形成する際、前記コンタクト層表面の初期酸化膜をエッチング工程により除去し、このエッチング工程において、コンタクト層の表面に残留した不純物元素を除去し、かつ、前記コンタクト層の表面に、再度酸化膜を一定厚さに成長することを特徴とする。

【0012】前記コンタクト層はp型であって、好ましくは前記金属電極はNi、Pd、Ir、Au、Pt及びこれらの合金のいずれか1つを前記コンタクト層の表面に堆積したものであり、かつ、前記酸化膜の一定の厚さは8Å乃至25Åの範囲内であることを特徴とする。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。図1、図2及び図3は本発明の第1の実施の形態に係る半導体装置の電極構成上の特徴とその機能を説明する図である。本発明はGa-N系半導体装置に動作電流を供給するためのオーミック電極に関するものであり、図1に示すように電流を供給する金属電極と、その下地となるp-GaNまたはn-GaNコンタクト層から構成される。

【0014】例えば発光ダイオード、受光ダイオード、またはトランジスタ等からなるGa-N系半導体装置を製造する際、これらの半導体装置の主要部をなすGa-N系の多層構造は、例えば有機金属気相成長法(MOCVD法; Metal Organic Chemical Vapor Deposition Method)等を用いて形成される。

【0015】前記コンタクト層は、通常多層構造の最終段階で形成されるため、気相成長炉から取り出して電極用金属膜を真空蒸着するまでの間に、ある程度大気中にさらされることが避けられず、また製造環境からの汚染物質が表面に取り込まれる機会も少なくない。

【0016】図1(a)は金属膜蒸着前のコンタクト層の表面状態を模式的に示したものである。前記コンタクト層の表面を2次イオン質量分析法(SIMS; Secondary Ion Mass Spectrometry)を用いて分析した結果、厚さ300Å乃至500Åの主として酸素を含む膜(以下単に酸化膜と呼ぶ)が形成され、汚染物質としてC(カーボン)等が含まれることがわかった。

【0017】この初期状態のコンタクト層の表面に直接金属電極を蒸着すれば、厚さ300Å乃至500Åの酸化膜の示す抵抗により半導体装置の動作電圧は高くなり、本来の動作特性が得られないことが確認された。

【0018】この問題を回避するために、第1段階として図1(b)に示すように、例えばHF系溶液を用いて前記コンタクト層表面をエッチングし、前記酸化膜を除去した後、第2段階として図1(c)に示すように金属電極を蒸着すれば、低抵抗なオーミック電極となり半導体装置の動作電圧が減少すると考えられる。

【0019】しかし、実際にはこのような2段階の工程を経ても、なお良好なオーミックコンタクトを得ること

はできなかった。その理由は、図1(b)に示すように、HF系の溶液を用いてエッチングすることにより酸化膜の厚さは3Å乃至5Åとなりほぼ除去することができるが、このままではGa-Nコンタクト層の表面に自然に存在する表面状態が除去されないためである。

【0020】また、第1段階で表面汚染物質として存在したCは酸化膜のエッチングと共に除去されるが、新たな汚染物質として前記エッチング過程でF(弗素)が表面に残留することが明らかになった。すなわち、コンタクト層と蒸着金属との間の接合特性には、コンタクト層の表面に自然に存在する表面状態と、HF系の溶液を用いたエッチング工程で表面に残留したFとの2つの因子が関与することが明らかになった。

【0021】例えばNaOHやHCl溶液のように、HF溶液以外のエッチング液を用いる場合にはより厚い酸化膜が残留し、また汚染物質としてNaOH溶液の場合にはNaが、HCl溶液の場合にはClが表面に残留し、同様にコンタクト層と金属電極との接合抵抗を高くする。

【0022】図2に示すように、例えばコンタクト層がp-GaNからなる場合、自然に存在する表面状態と、表面に残留したF原子との作用により、高密度の表面準位が発生し、フェルミ準位のピンニングを生じるため、コンタクト層の表面に正孔電流に対して高い障壁 ϕ_{BI} が発生する。

【0023】フェルミレベルのピンニングは、n-GaNに対しては電子電流の伝導を妨げる向きに障壁を発生するので、p型、n型のGa-Nに対して共に金属電極との間の抵抗を増加させる。

【0024】ここでフェルミレベルのピンニングとは、半導体表面における禁止帯の中央部に局所的に高密度の表面準位が存在する場合、半導体内部のフェルミ準位が前記表面準位が集中するエネルギー値にピン留めされ、表面障壁の高さが金属電極の種類と無関係に定められる現象をいう(例えばS. M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, 2nd Ed., John Wiley & Sons, 1981, p. 276参照)。

【0025】本発明の第1の実施の形態の特徴は、図1に示すHF溶液によるp型またはn型Ga-Nコンタクト層の表面エッチングを行って、表面の厚い酸化膜を除去した後、前記エッチングにより表面に残留したF原子を除去し、再度厚さ8Å乃至25Åの純粋な酸化膜を堆積した後、その上に電極用の金属膜を蒸着することにより、ほぼ完全なオーミック特性を示す電流電極を形成することにある。

【0026】エッチングの際の汚染物質であるF原子は、コンタクト層の表面に自然に存在する表面状態と共に、前記フェルミ準位のピンニングの原因となる表面準位の密度を高める作用がある。このため表面にF原子が存在する場合には、コンタクト層の表面障壁はp型及び

n型共にこの表面準位に強固にピン留めされ、正孔及び電子の伝導に対して高い障壁を形成するようになる。

【0027】したがって、表面に残留したF原子を除去すれば、コンタクト層の表面にはGa₂N結晶の表面に自然に存在する表面状態に基づく表面準位のみが残留し、前記ピンニング効果はやや緩和されるが、表面状態は結晶固有のものであるため単に表面を清浄化するのみではこれを取り除くことができない。

【0028】表面状態を除去するためには、その発生原因となるダングリングボンド（結晶表面で切断されたGa原子とN原子とを結ぶ結合手）を、Ga及びNとそれぞれ強固に結合する第3の原子を用いて終端させる必要があり、前記第3の原子を表面に隙間なく配置しなければならない。例えばシリコンの場合、前記第3の原子はO（酸素）であり、シリコン表面のダングリングボンドはSiO₂の形で終端され、表面状態をほぼ完全に消失させる。

【0029】通常GaAsのようなIII-V族化合物半導体では、O原子による表面状態の消失効果は小さいとされてきたが、本発明はGa₂N系結晶に関しては、O原子が表面状態をほぼ完全に消失させることをはじめて見いだしたことによるものであり、前記8Å乃至25Åの純粋な酸化膜をGa₂Nコンタクト層上に堆積すれば表面状態が消失し、金属電極との境界に生じる障壁の高さは、金属電極の種類により定まる値まで低減することが確認された。

【0030】Ga₂Nコンタクト層と金属電極との間に介在させる酸化膜の厚さをさらに大きくすれば、表面状態低減に基づく障壁高さの減少効果は不変であるが、一方酸化膜の示す絶縁抵抗が増加し金属電極の示すコンタクト抵抗が急激に増加する。

【0031】すなわち、酸化膜の厚さが25Å以下であれば、電子及び正孔はトンネル効果により酸化膜を通過することができるので、コンタクト抵抗に何等影響を及ぼすことはないが、それ以上の膜厚に対してはトンネル効果が急激に減衰し、酸化膜が電子及び正孔の伝導に対して障壁乃至絶縁抵抗として作用するようになる。

【0032】また、先に図1（b）に示したように、酸化膜の厚さが3Å乃至5Åの範囲では、F原子を除去してもGa₂Nコンタクト層のO原子による被覆が十分になされないために、表面状態を完全に除去することができない。したがって、十分に低いコンタクト抵抗を得るために必要な酸化膜の厚さは、8Å乃至25Åの範囲に限定される。

【0033】図3にp-Ga₂Nコンタクト層を例として、このように最適化された金属電極のバンド構造図が模式的に示されている。図2に示す表面準位は完全に消失し、障壁高さφ_{B2}はp-Ga₂Nと電極金属の仕事関数差で決まる値まで減少する。金属とp-Ga₂Nの間に介在する酸化膜の障壁は、厚さ25Å以下であればトンネ

ル効果により正孔の伝導に対して障壁として作用することはない。

【0034】金属電極として例えばPtを用いた場合、X線光電子分光法（XPS；X-ray Photoelectron Spectroscopy）から評価したφ_{B1}及びφ_{B2}の値は、それぞれ1.1eVと0.6eVであった。実効的なコンタクト抵抗の値は、前記障壁の高さに対して指数関数的に増加するので、障壁高さの減少に基づく半導体装置の動作電圧低減の効果は極めて大きい。

【0035】次に図4に基づき本発明の第2の実施の形態について説明する。本第2の実施の形態では、第1の実施の形態で説明した各段階のGa₂Nコンタクト層表面の深さ方向のO₂分布を、2次イオン質量分析法を用いて具体的に評価した結果を示す。

【0036】図4（a）は、Ga₂Nコンタクト層をエピタキシャル成長し、表面に厚い初期酸化膜が存在する状態のまま金属電極を蒸着し、これを評価した表面のO₂密度分布を示す図である。この結果からエピタキシャル成長した初期状態のGa₂Nコンタクト層の表面には厚さ300Åの酸化膜が存在し、この上に直接金属電極を成長すれば厚い酸化膜が絶縁層として作用するためコンタクト抵抗が高くなることが明らかになった。

【0037】この厚い酸化膜をHF溶液でエッチング除去し、金属電極を蒸着した後の深さ方向のO₂分布を図4（b）に示す。信号の半値幅から、このとき表面には厚さ4Å程度の酸化膜が存在すると考えられるが、この値はGa₂N結晶の格子定数とほぼ同程度であるため、HF溶液でエッチングされたGa₂N結晶の表面は高々O₂の単原子層程度の酸化膜で覆われた状態になっている。

【0038】このようにO₂単原子層で覆われたGa₂Nコンタクト層の表面に金属電極を蒸着すれば、酸化膜の抵抗が無視され、かつ表面状態も消失するので最良のオーミック特性が得られるのであるが、実際にはF原子の汚染やO₂による表面被覆の不完全性があるため、フェルミ準位のピンニングを生じてGa₂Nコンタクト層の表面に高い表面障壁が形成され、コンタクト特性が阻害される。

【0039】図4（c）はF汚染の除去後、再度高純度の酸化膜を成長し、その上に金属電極を蒸着したときのO₂の密度分布を示す図である。前記酸化膜の成長はエッチング工程に引き続き、低酸素分圧のキャリアガス中で300℃の熱処理をすることにより行った。この方法によれば、Fの汚染は熱処理過程で蒸発し除去することができる。図4（c）に示すように、酸化膜を厚さ約20Å成長した後金属電極を形成すれば、低抵抗なオーミック電極が得られることがわかった。

【0040】図4（c）にのべた酸化膜の厚さとこれを用いた半導体発光装置の動作電圧との関係を図5に示す。このときの半導体装置の動作電流は50mAである。この図から低抵抗なオーミックコンタクトを得るの

に最適な酸化膜の厚さは8 Å乃至25 Åの範囲であることがわかった。

【0041】次に図6に基づき本発明の第3の実施の形態について説明する。図6のテストサンプルを用いた評価において、Ga Nコンタクト層の厚い初期酸化膜をHF溶液でエッチング除去した後、F汚染を除去することなく金属電極を蒸着したものを従来法とし、HF溶液によるエッチング後、温度70℃乃至95℃の超純水中に約1分間浸漬する工程を加え、その後金属電極を蒸着したものを本発明として表示した。

【0042】この温水中の浸漬処理により、F汚染の除去と高純度の酸化膜の形成が同時に行われる。図6に示ように、本発明の温水処理した電流電極の場合には、テストサンプルの電流に対する電圧値は大幅に低下することがわかった。

【0043】次に図7、図8に基づき本発明の第4の実施の形態について説明する。本発明のオーミック電極を備えたGa N系半導体レーザの断面構造の一例を図7に示す。この短波長半導体レーザの主要部は、InGa N・MQW（多量子井戸；Multi Quantum Wellの略称）活性層6と、その上下に隣接するn-Ga N、p-Ga Nからなる光ガイド層5、7と、これに隣接するn-AlGa N、p-AlGa Nからなるクラッド層4、8と、さらにその上下に隣接するn-Ga N、p-Ga Nからなるコンタクト層2、9により構成される。

【0044】上記Ga N系結晶の多層構造からなる半導体レーザは、サファイア基板1の上に引き続き形成されるが、前記基板が絶縁物であるため電流電極3、11は共に装置の片側から図7に示すように取り出される。なお、SiO₂膜10は上部電極11から注入される正孔電流を活性層に集中させ、レーザ発光の効率を高める電流狭窄用のストライプである。

【0045】図7において、酸化膜を介在させた本発明の電流電極の構造は、上部のp-Ga Nコンタクト層9とPt/Au電極11との間、及び下部のn-Ga Nコンタクト層2とAl/Pt/Au電極3との間に適用された。本発明の電流電極構造を用いることにより、レーザ装置の動作電圧を大幅に低減することができ、高効率でかつ長寿命なGa N系半導体レーザを実現することができた。

【0046】図8は電流狭窄用のn-Ga N層12を用いた内部ストライプ型のGa N系半導体レーザである。この場合も本発明の電流電極構造の適用箇所は、図7と同様であるため説明を省略する。

【0047】次に図9、図10に基づき、本発明の第5の実施の形態について説明する。この実施の形態においては、基板材料としてMgOを用いることに特徴がある。図9はp-MgOを基板とするGa N系半導体レーザの断面構造の一例を示す図である。このGa N系半導体レーザは、導電性のp-MgO基板13の上に形成さ

れていること、下部のPt/Au電流電極11がp-MgO基板の下部から取り出されていること、及びp-Ga N電流狭窄層14の下部にn-Ga N層2aを一部残留させ、その上に再度n-Ga Nコンタクト層2を形成する選択埋め込みリッジ（以下SBR；Selectively Buried Ridgeと略称する）構造のp-Ga Nからなる電流狭窄層14を有することが図8と異なっている。

【0048】MgO基板は伝導度が大きいp型結晶を得ることができるので、この上にp型側からGa N系の多層構造を形成することにより、p-MgO基板13の下部から電流電極を取り出した生産性の高いレーザを製造することができる。

【0049】本発明の酸化膜を介在させた電流電極の構造は、上部のn-Ga Nコンタクト層2とAl/Pt/Au電極3との間に適用された。下部のp-MgO基板とPt/Au電極11との間は、従来法により直接電極付けを行った。

【0050】このように、p-MgO基板上のSBR構造を有するGa N系半導体レーザの上部電極に本発明の電流電極構造を用いることにより、レーザ装置の動作電圧を大幅に低減し、SBR構造の高効率性と相俟ってその効率をさらに改善し、長寿命なGa N系半導体レーザを実現することができた。

【0051】図10は、前記SBR構造において、p-Ga N電流狭窄層14と最終のn-Ga Nコンタクト層2の成長を省略し、n-AlGa Nクラッド層4の一部を残すようにn-Ga N層2aと前記n-AlGa Nクラッド層4をメサ加工したリッジ型のGa N系半導体レーザである。上部のAl/Pt/Au電極3は、n-Ga N層2aをコンタクト層としてその上に形成される。

【0052】図9と同様に、本発明の酸化膜を介在させた電流電極の構造は、上部のn-Ga Nコンタクト層2aとAl/Pt/Au電極3との間に適用された。図10に示すメサリッジ型のGa N系半導体レーザは、図9のSBR構造を形成するためのエピタキシャル工程が大幅に簡略化されるので、図9に比べてさらに高い生産性が得られる特徴がある。

【0053】次に図11、図12に基づき本発明の第6の実施の形態について説明する。この実施の形態においては基板材料として不純物を添加しないSi、または不純物添加により導電性としたSiを用いることに特徴がある。

【0054】図11は図8に比べてサファイア基板1のかわりにSi基板15を用いる点異なる。Si基板15は不純物添加をしない伝導度が低いものを用いているため、下部のAl/Pt/Au電極3は下部のn-Ga Nコンタクト層2の上部から取り出す構造となっている。

【0055】本発明の酸化膜を介在させた電流電極の構造は、上部のp-Ga Nコンタクト層9とPt/Au電

極11との間、及び下部のn-GaNコンタクト層2とその上に形成されたAl/Pt/Au電極3との間に適用された。

【0056】図12は図11に比べて導電性のn-Si基板16を用い、その下部からAl電極17を取り出すこと、電流狭窄層が図9で説明したSBR構造を有すること以外は、図11のGaN系半導体レーザと同様である。本発明の酸化膜を介在させた電流電極の構造は、上部のp-GaNコンタクト層9とPt/Au電極11との間に適用された。n-Si基板16の下部のAl電極17は、従来の方法により十分抵抗の低いオーミック電極とすることができる。

【0057】なお、n-Si基板16のかわりにp-Si基板を用い、p型側からGaN系の多層構造を成長することにより同様な素子を形成することができる。図11、図12に示すGaN系半導体レーザはSiを基板として用いるので、サファイアやMgOを用いるものに比べて製造コストが低く、高い生産性が得られる特徴がある。

【0058】なお本発明は上記の実施の形態に限定されることはない。例えば第1乃至第6の実施の形態において、コンタクト層はGaNからなるものについて説明したが、必ずしもGaNに限定されるものではない。少なくともGaを含むIII-V族窒化物からなるコンタクト層であれば同様な効果がある。

【0059】また、金属電極の材料として、n型コンタクト層に対してはAl、p型コンタクト層に対してはPtを用いたが、本発明の方法により表面準位が消失すれば、金属電極の種類を選択することにより、障壁高さを最適化することができるので、必ずしも前記AlとPtに限定されるものではない。

【0060】また、コンタクト層と電極金属との間に介在させる材料として、GaNの酸化膜を用いたが、コンタクト層表面に生じるダングリングボンドを終端することができる材料であれば、必ずしも酸化膜に限定されることはない。

【0061】またGaNコンタクト層表面を酸化する方法として、低酸素分圧のキャリアガス中における300℃の熱処理を用いたが、この熱処理はドライまたはウェットのいずれの雰囲気で行っても良い。

【0062】また本発明の半導体装置への適用例として、GaN系半導体レーザの電流電極について説明したが、必ずしもこれに限定されるものではない。例えばGaN系の発光ダイオード、受光ダイオード、GaN系トランジスタ等、少なくとも動作電流を供給するオーミック電極を必要とする装置であれば、全て本発明の適用対象に含まれる。その他本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々に変形して実施することができる。

【0063】

【発明の効果】上述したように本発明によれば、GaN系半導体装置に動作電流を供給する電流電極のオーミック抵抗を最小にすることができるので、この電極部における過剰電圧を低減し、GaN系半導体装置の効率と信頼性を大幅に向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の特徴を説明するためのコンタクト層の処理段階を示す図。

【図2】表面準位と表面障壁の発生との関連を示すバンド構造図。

【図3】本発明の電流電極の構成に係るバンド構造図。

【図4】種々の酸化膜厚におけるO₂密度プロファイル

【図5】酸化膜の厚さとこれを用いたGaN系半導体発光装置の動作電圧との関係。

【図6】温水処理した本発明の電極の特性と従来法によりものとを比較した図。

【図7】サファイア基板上に形成された、本発明のGaN系半導体レーザの断面構造を示す図。

【図8】サファイア基板上に形成された、本発明の他のGaN系半導体レーザの断面構造を示す図。

【図9】p-MgO基板上に形成された、本発明のGaN系半導体レーザの断面構造を示す図。

【図10】p-MgO基板上に形成された、本発明の他のGaN系半導体レーザの断面構造を示す図。

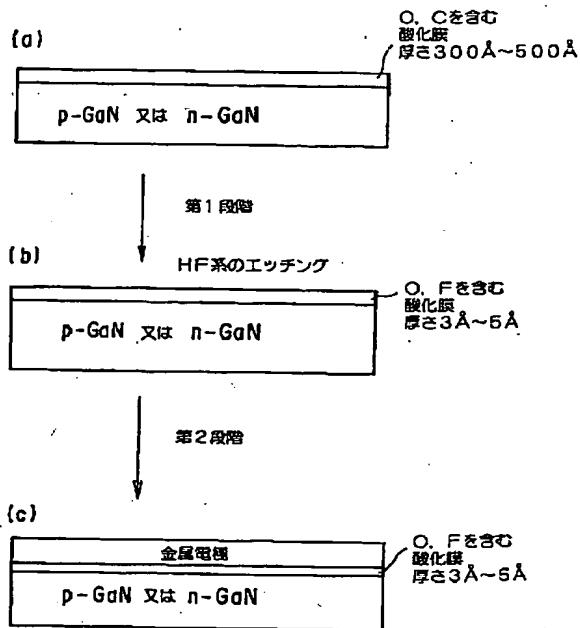
【図11】不純物を添加しないSi基板上に形成された、本発明のGaN系半導体レーザの断面構造を示す図。

【図12】不純物を添加したn-Si基板上に形成された、本発明のGaN系半導体レーザの断面構造を示す図。

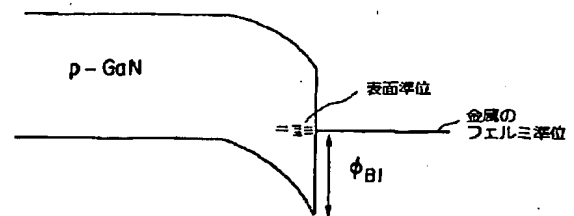
【符号の説明】

- 1…サファイア基板
- 2…n-GaNコンタクト層
- 2a…n-GaN層
- 3…Al/Pt/Au電極
- 4…n-AlGaInクラッド層
- 5…n-GaNガイド層
- 6…InGaIn・MQW活性層
- 7…p-GaNガイド層
- 8…p-AlGaInクラッド層
- 9…p-GaNコンタクト層
- 10…SiO₂膜
- 11…Pt/Au電極
- 12…n-GaN電流狭窄層
- 13…p-MgO基板
- 14…p-GaN電流狭窄層
- 15…Si基板
- 16…n-Si基板
- 17…Al電極

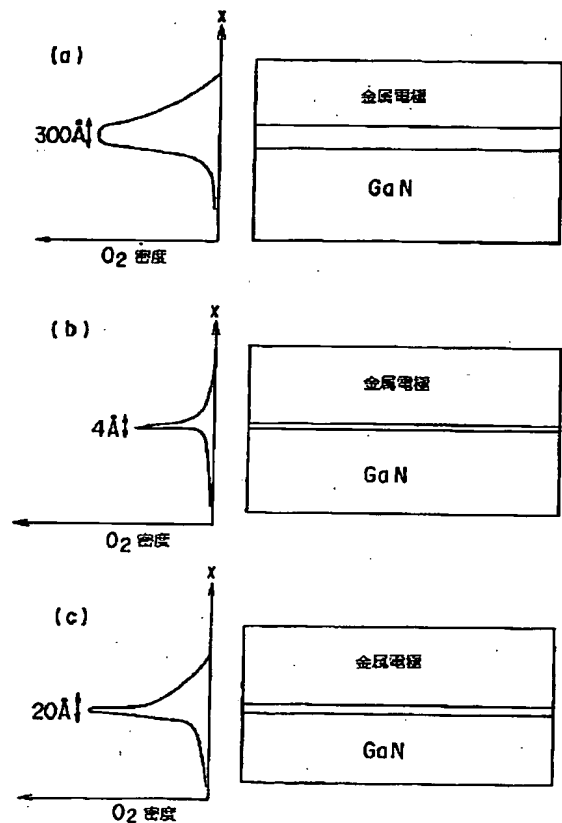
【図 1】



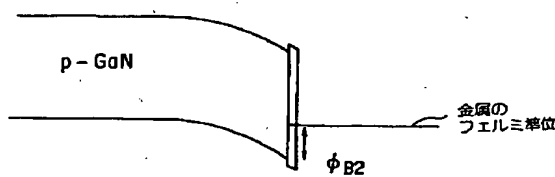
【図 2】



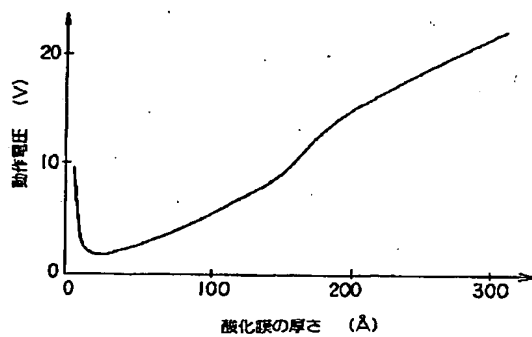
【図 4】



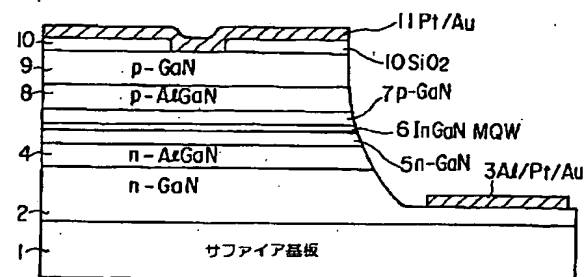
【図 3】



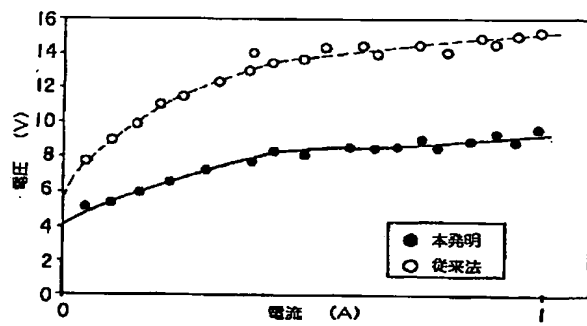
【図 5】



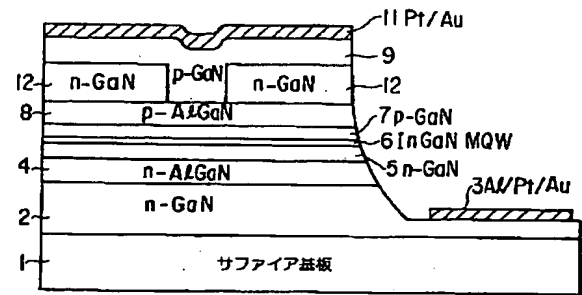
【図 7】



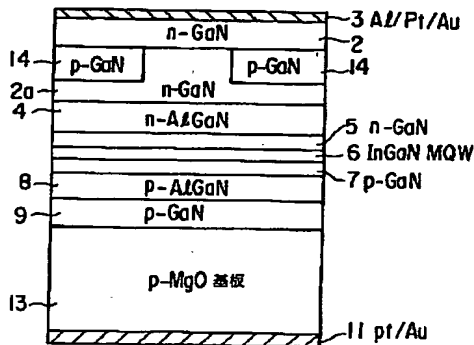
【図 6】



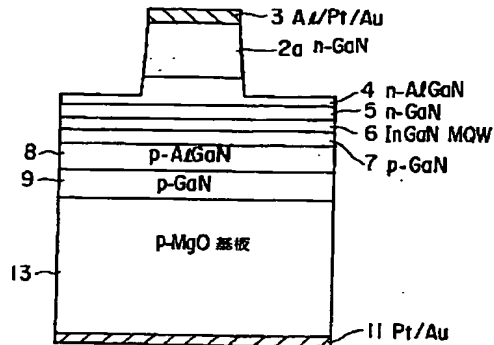
【図 8】



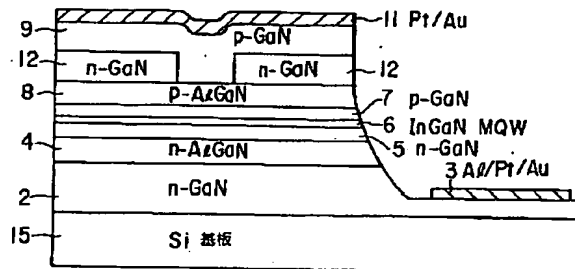
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【図 12】

